

DISTRIBUCION DE CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS
FRENTE A PENINSULA LOS MOLLES, CHILE (32°45'S) Y SU
RELACION CON EL FENOMENO "EL NIÑO" 1982/83*

Roberto Prado F.** y Hellmuth A. Sievers**

ABSTRACT. Distribution of physical and chemical water characteristics off península Los Molles, Chile (32°45'S) and its relation to the El Niño 1982/83 phenomenon.

A series of 21 oceanographic cruises were performed in the vicinity of península Los Molles, Quintero, Chile (32°45'S) between July 21, 1982 and January 5, 1984 as part of the "El Niño" monitoring program ERFEN (Estudio Regional del Fenómeno El Niño). This study, conducted by the Instituto de Oceanología, University of Valparaíso, began shortly before the occurrence of the "El Niño" 1982/83 phenomenon, allowing the observation of its development until normal conditions were reestablished. The fluctuations of temperature, salinity, density, dissolved oxygen, phosphate, nitrate and nitrite are analyzed in this paper.

The surface salinity in this area is mainly diluted by freshwater from the nearby Aconcagua River outlet and thus is of limited utility as an indicator. The oxygen concentration shows a highly significant ($\alpha = 0.001$) inverse linear relation to the density. This relation is shifted by "El Niño". The oxygen concentration in the surface layer which is normally high during most of the year shows low values in the observed water column (250 m) during the occurrence of "El Niño". The nutrients show seasonal variations with maximum concentrations in coincidence with upwelling in spring; low concentrations are found after November. Nitrite has a particular distribution which differs from those of phosphate and nitrate, with a maximum in winter at the oxycline depth. The N/P ratio in these waters is low, with values around 5 and only occasionally greater than 10.

Subtropical, Subantarctic and Equatorial Subsurface water masses were identified between the surface and 250 m depth. This is the first time that

* Proyecto financiado por el Comité Oceanográfico Nacional de Chile (CONA).

** Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso. Casilla 13-D, Viña del Mar, Chile.

such high percentage ($\sim 50\%$) of Subtropical Water is observed in the region being a direct consequence of the strong "El Niño" 1982/83 phenomenon. As a result of "El Niño" the water column reached a remarkably high temperature level in 1983. The temperature difference at 250 m depth for the same month in 1982 and 1983 was approximately 2°C.

The occurrence of the "El Niño" 1982/83 in the studied area was typified by positive thermic anomalies, low oxygen concentrations, very low concentrations of nitrate in the surface ($< 1,0 \mu \text{mol dm}^{-3}$) and a notable sinking of the water characteristics except nitrite.

Key words: Water characteristics, water masses, El Niño.

INTRODUCCION

Como parte de un estudio destinado a configurar un patrón normal de las características oceanográficas y biológicas frente a Quintero, Chile ($32^{\circ}45'S$), que sirviera para identificar la ocurrencia del fenómeno "El Niño" en el área y su eventual detección temprana, se efectuaron 21 cruceros oceanográficos entre el 21 de julio de 1982 y el 5 de enero de 1984. El estudio fue casualmente iniciado poco antes de ocurrir el fenómeno "El Niño" 1982/83, por lo que los datos aquí analizados abarcan desde el período inmediato a su aparición hasta el reestablecimiento de las características oceanográficas normales en la zona.

En este trabajo se analizan las distribuciones temporales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fosfato reactivo, nitrato y nitrito y se identifican las masas de agua presentes entre la superficie y los 250 m de profundidad.

MATERIALES Y METODOS

Los 21 cruceros oceanográficos fueron realizados, en el período señalado, frente a la península Los Molles con la L/I "Cruz del Sur" del Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso (Figura 1). En los primeros 4 cruceros, entre julio y septiembre de 1982, se efectuaron 3 estaciones a 2, 7 y 14 millas de la costa, las que se redujeron a dos ubicadas a 2

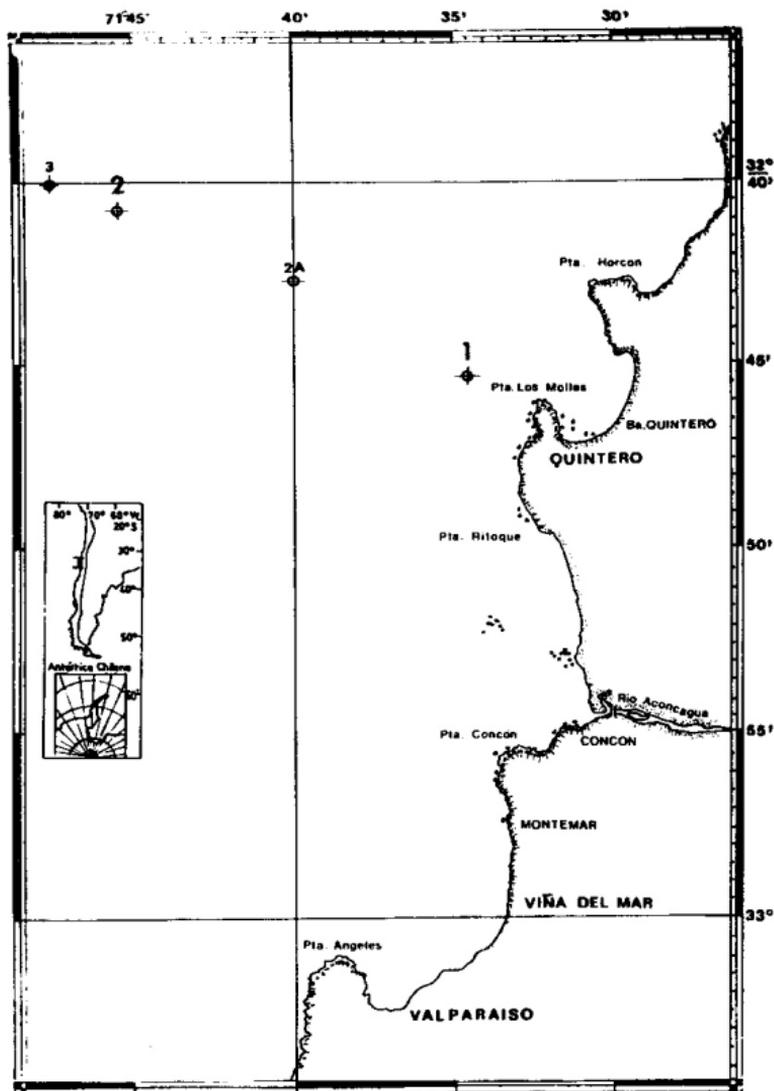


Fig. 1. Posición geográfica de las estaciones.

y 12 millas a partir de noviembre de 1982.

Las observaciones se efectuaron entre 0 y 250 m de profundidad (75 m en la estación 1). Las muestras de agua para el análisis de salinidad, oxígeno disuelto, fosfato, nitrato y nitrito se obtuvieron con botellas Niskin hasta 50 m de profundidad y con Nansen en las profundidades mayores. La temperatura fue medida con termómetros de inversión protegidos dispuestos de a pares en cada botella; la salinidad fue determinada con un salinómetro de inducción digital Tsurumi Seiki y el oxígeno disuelto mediante el método Winkler modificado por Carrit & Carpenter (1966). Fosfato reactivo, nitrato y nitrito fueron determinados mediante los métodos indicados por Strickland & Parsons (1968) y sus concentraciones calculadas contra curvas de calibración utilizando un computador IBM sistema 23. Los porcentajes de saturación de oxígeno se calcularon conforme a la ecuación y coeficientes de solubilidad de oxígeno de Carpenter indicados por Gilbert *et al.* (1968). Las densidades fueron calculadas en el Centro Nacional de Datos Oceanográficos de Chile (CENDOC).

Con la información así obtenida se prepararon gráficos de distribución de las propiedades en series de tiempo. Las isolíneas de las distintas características del agua correspondientes a los cruceros de agosto y septiembre de 1982 y que aparecen en las series de tiempo de la estación 2, están determinadas por valores interpolados gráficamente a partir de los datos de las estaciones 2A y 3.

Con los datos de temperatura superficial del mar observados tres veces diariamente en Montemar se preparó una serie de tiempo con valores medios correspondientes a períodos resultantes de la subdivisión arbitraria de cada mes en lapsos de 7 y 8 días. Asimismo, se preparó una serie histórica de variación de la temperatura media mensual con los datos costeros de Montemar correspondientes al período 1958-1986 indicándose, mediante barras verticales, sus respectivas desviaciones estándar. Sobre estas medias históricas se superpusieron los datos medios mensuales de temperatura superficial del mar desde junio de 1982 a enero de 1984, a fin de evaluar cuantitativamente posibles anomalías. Además se agregaron, en dicho gráfico, las temperaturas superficiales del mar observadas durante los cruceros oceanográficos.

Los datos de oxígeno disuelto para el rango de sigma-T mayor de 24,8 fueron correlacionados con los de densidad,

y 12 millas a partir de noviembre de 1982.

Las observaciones se efectuaron entre 0 y 250 m de profundidad (75 m en la estación 1). Las muestras de agua para el análisis de salinidad, oxígeno disuelto, fosfato, nitrato y nitrito se obtuvieron con botellas Niskin hasta 50 m de profundidad y con Nansen en las profundidades mayores. La temperatura fue medida con termómetros de inversión protegidos dispuestos de a pares en cada botella; la salinidad fue determinada con un salinómetro de inducción digital Tsurumi Seiki y el oxígeno disuelto mediante el método Winkler modificado por Carrit & Carpenter (1966). Fosfato reactivo, nitrato y nitrito fueron determinados mediante los métodos indicados por Strickland & Parsons (1968) y sus concentraciones calculadas contra curvas de calibración utilizando un computador IBM sistema 23. Los porcentajes de saturación de oxígeno se calcularon conforme a la ecuación y coeficientes de solubilidad de oxígeno de Carpenter indicados por Gilbert *et al.* (1968). Las densidades fueron calculadas en el Centro Nacional de Datos Oceanográficos de Chile (CENDOC).

Con la información así obtenida se prepararon gráficos de distribución de las propiedades en series de tiempo. Las isolíneas de las distintas características del agua correspondientes a los cruceros de agosto y septiembre de 1982 y que aparecen en las series de tiempo de la estación 2, están determinadas por valores interpolados gráficamente a partir de los datos de las estaciones 2A y 3.

Con los datos de temperatura superficial del mar observados tres veces diariamente en Montemar se preparó una serie de tiempo con valores medios correspondientes a períodos resultantes de la subdivisión arbitraria de cada mes en lapsos de 7 y 8 días. Asimismo, se preparó una serie histórica de variación de la temperatura media mensual con los datos costeros de Montemar correspondientes al período 1958-1986 indicándose, mediante barras verticales, sus respectivas desviaciones estándar. Sobre estas medias históricas se superpusieron los datos medios mensuales de temperatura superficial del mar desde junio de 1982 a enero de 1984, a fin de evaluar cuantitativamente posibles anomalías. Además se agregaron, en dicho gráfico, las temperaturas superficiales del mar observadas durante los cruceros oceanográficos.

Los datos de oxígeno disuelto para el rango de sigma-T mayor de 24,8 fueron correlacionados con los de densidad,

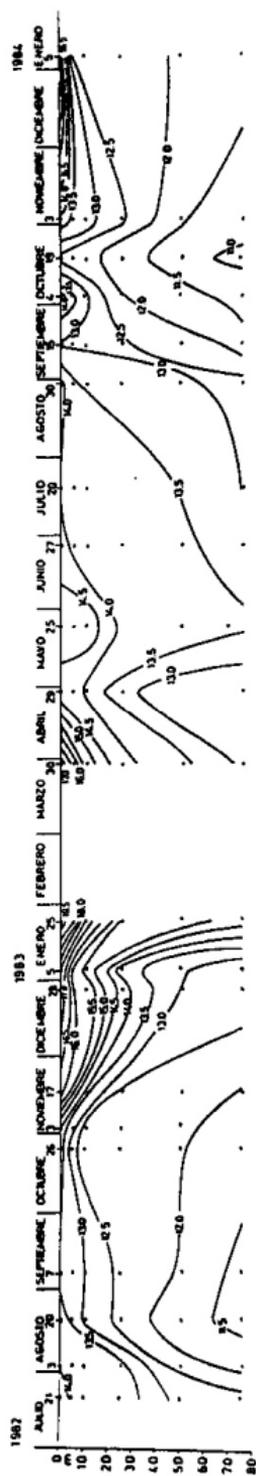


Fig. 2a. Variación temporal de temperatura en °C en la estación 1.

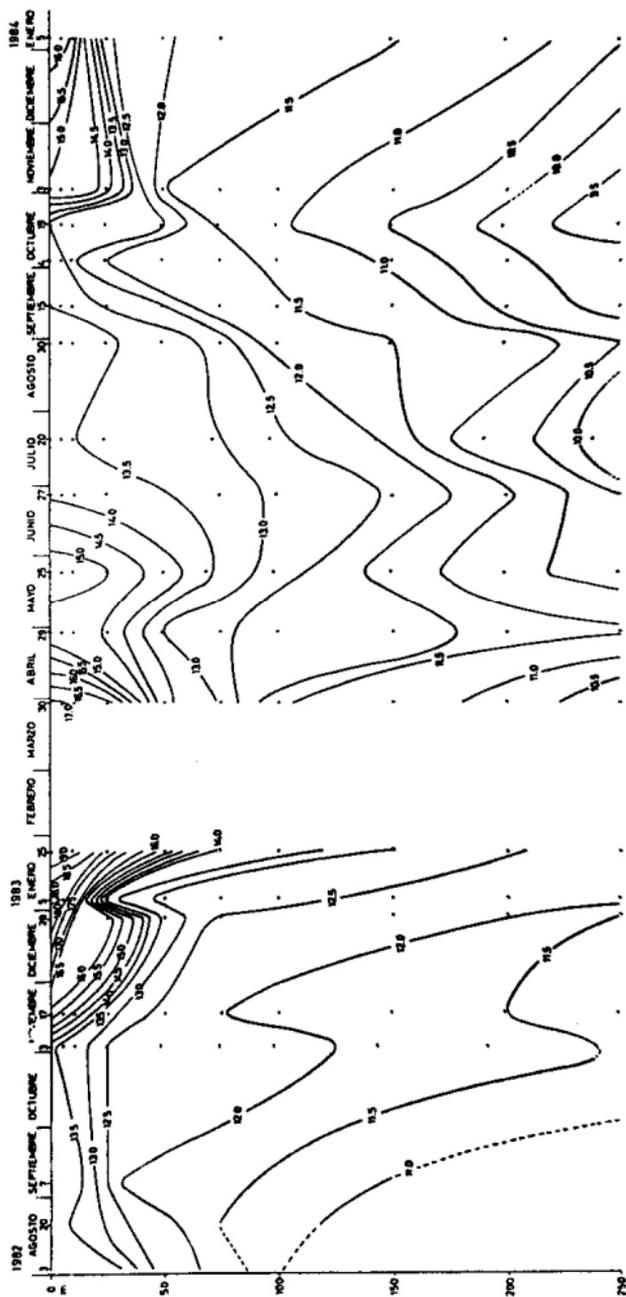


Fig. 2b. Variación temporal de temperatura en °C en la estación 2. Las isolíneas correspondientes a los meses de agosto y septiembre de 1982 fueron trazadas con datos interpolados gráficamente a partir de los valores de las estaciones 2A y 3.

0,17°C. La excepción de 0,25°C registrada el 7 de septiembre de 1982 a 25 m de profundidad, también fue observada sobre la termoclina.

Se destaca el notable hundimiento experimentado por las isoterms desde mediados de noviembre de 1982 (Fig. 2). Paralelamente se observa un marcado ascenso de la temperatura superficial del mar registrada diariamente en Montemar, la que alcanzó sus valores más altos hacia fines de enero de 1983 (Fig. 3). Este ascenso no se repite con la misma magnitud en el verano siguiente, en que tampoco se observó un hundimiento de las isolíneas comparable al de fines de 1982-comienzos de 1983. La termoclina estacional también comenzó a acentuarse en noviembre de 1982, alcanzando una gradiente muy marcada y gran profundidad (> 50 m), situación que se mantuvo hasta abril del año siguiente. A fines de octubre de 1983 volvió a intensificarse la termoclina pero sin alcanzar ni la profundidad ni la intensidad del año anterior.

Se dieron diferencias entre los períodos de invierno y primavera de ambos años. En general, en 1983 la temperatura de la columna de agua hasta 200 m fue más alta que en el año 1982, como se desprende de la mayor profundidad alcanzada por isoterms similares (Fig. 2). En primavera las tendencias entre ambos años se invierten, principalmente bajo los 50 m de profundidad. La diferencia de temperatura a 250 m de profundidad alcanza para el mismo mes, pero para los distintos años, casi 2°C.

Salinidad

Las principales fluctuaciones de salinidad ocurren en los primeros 50 m (capa superficial) siendo más acentuadas en 1982 que en 1983. En diversas ocasiones se registraron salinidades superficiales muy bajas que afectaron la capa de agua hasta unos 10 m de profundidad, originando una haloclina muy marcada (Fig. 4). Especialmente notorias fueron las bajas salinidades del 7 de septiembre de 1982 con sólo $30,92 \times 10^{-3}$ y del 5 de enero de 1983 con $31,02 \times 10^{-3}$, ambas registradas en la estación 1. Las salinidades superficiales más altas se registraron en octubre de 1983, siendo en la estación 1 algo mayores que $34,7 \times 10^{-3}$.

Salinidades mayores que $34,6 \times 10^{-3}$, propias del Agua Ecuatorial Subsuperficial prácticamente dominan bajo los 100 m du-

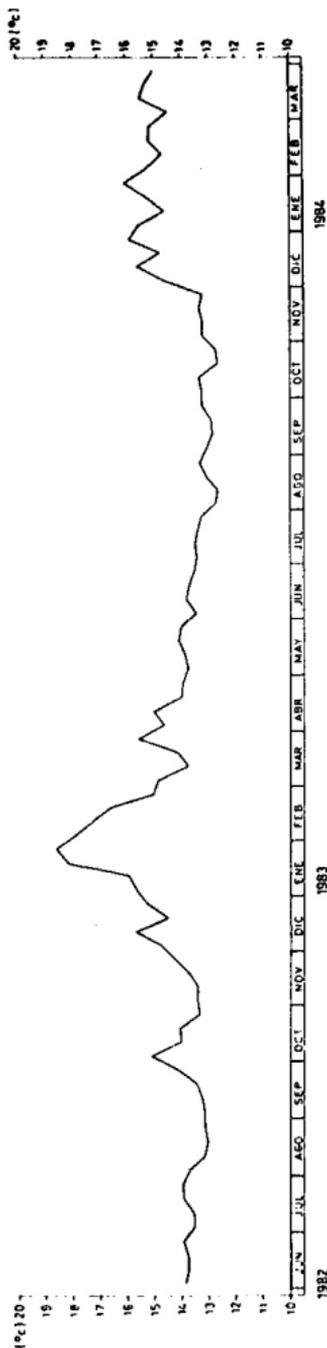


Fig. 3a. Serie de tiempo de las temperaturas superficiales del mar en °C registradas en la zona costera de Montemar. El gráfico fue trazado en base a cuatro temperaturas medias mensuales (períodos de 7 y 8 días) según se indica en Materiales y Métodos.

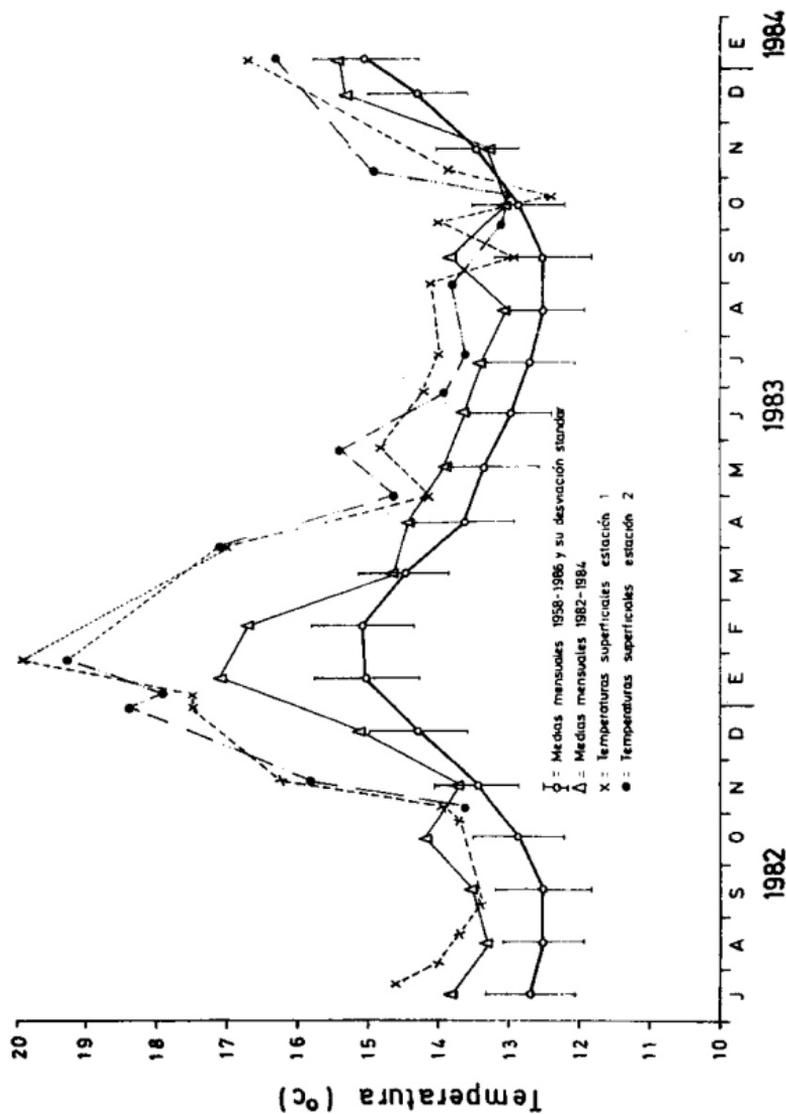


Fig. 3b. Temperatura superficial del mar en °C en la estación costera de Montemar con la curva del promedio mensual histórico (1958-1986), desviación estándar (barras verticales) y temperatura media mensual entre junio de 1982 y enero de 1984 y las temperaturas superficiales del mar observadas en los cruceros oceanográficos descritos en el texto.

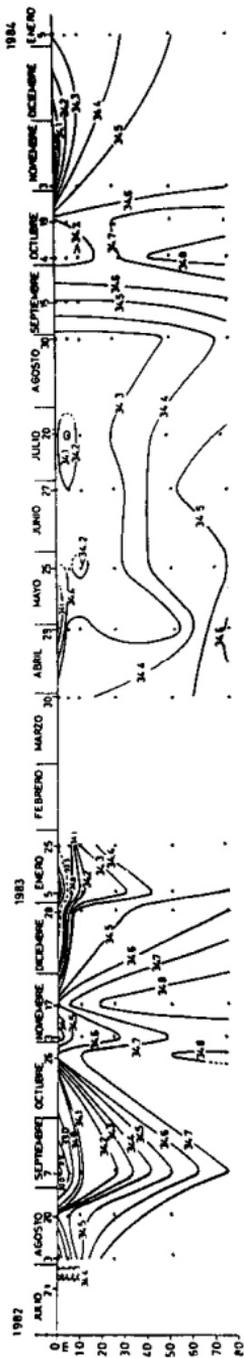


Fig. 4a. Variación temporal de salinidad (10⁻⁵) en la estación 1.

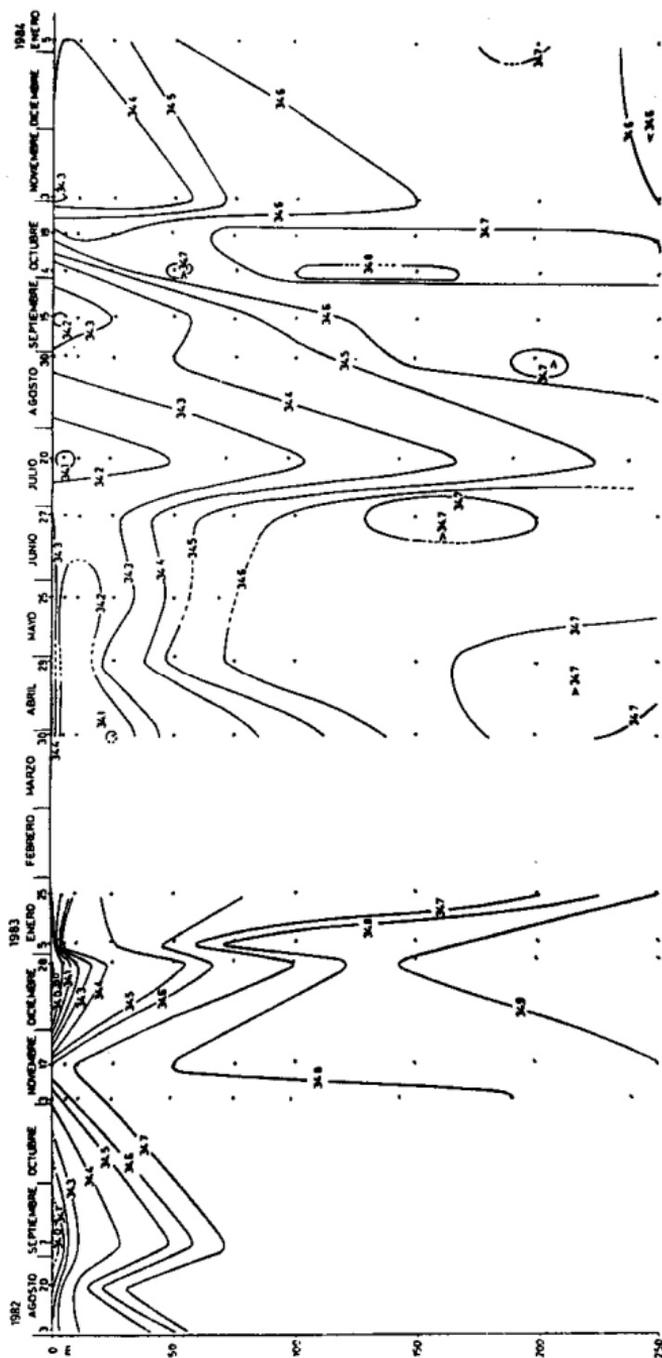


Fig. 4b. Variación temporal de salinidad (10⁻³) en la estación 2. Datos para trazado de isolíneas de agosto y septiembre de 1982 interpolados gráficamente a partir de los valores de las estaciones 2A y 3.

rante el período estudiado, observándose incluso valores tan altos como $34,8 \times 10^{-3}$ a profundidades menores que 50 m en la estación 1 (noviembre de 1982 y octubre de 1983, Fig. 4).

Las isohalinas experimentaron, al igual que en el caso de las isotermas, un hundimiento considerable que fue especialmente importante en enero de 1983 y que no se repitió durante el verano de 1983/84 (Fig. 4). La capa de agua estudiada aparece como más homogénea durante el invierno de 1983 que en la misma época del año anterior, especialmente en la estación 1. Asimismo, los valores de los máximos y mínimos alcanzaron las mismas intensidades en 1983 que en el año anterior.

Densidad

Las variaciones en densidad son influidas primordialmente por variaciones de temperatura en estas latitudes, por lo que su distribución sigue patrones similares al de las isotermas, con algunas variantes causadas por efecto de la salinidad (Fig. 5). Una pycnoclina estacional comienza a desarrollarse en la capa superficial (< 50 m) a fines de octubre alcanzando su máximo gradiente en enero de 1983 y extendiéndose -ya más debilitada- hasta mayo del mismo año. Es notable el considerable hundimiento sufrido por las isopícnas en enero de 1983 (Fig. 5).

La gradiente de la pycnoclina estacional formada a contar de octubre de 1983 es menor, siendo los valores de densidad superficiales más altos que los del año anterior (> 25 comparado con < 23). En esta oportunidad no se produjo hundimiento de las isopícnas, observándose incluso un ascenso de las más superficiales al progresar el verano (Fig. 5).

El valor de densidad superficial más bajo fue registrado el 5 de enero de 1983 en la estación 1 con $22,35 \text{ kg m}^{-3}$ y el más alto, con $26,29 \text{ kg m}^{-3}$, también en la estación 1 el 19 de octubre de 1983.

Oxígeno disuelto

El contenido de oxígeno disuelto estuvo sujeto a grandes variaciones, con altos valores superficiales durante la mayor parte del período estudiado (Fig. 6). Valores mayores que 6 ml/l, con saturaciones sobre el 100%, se observan en ambos

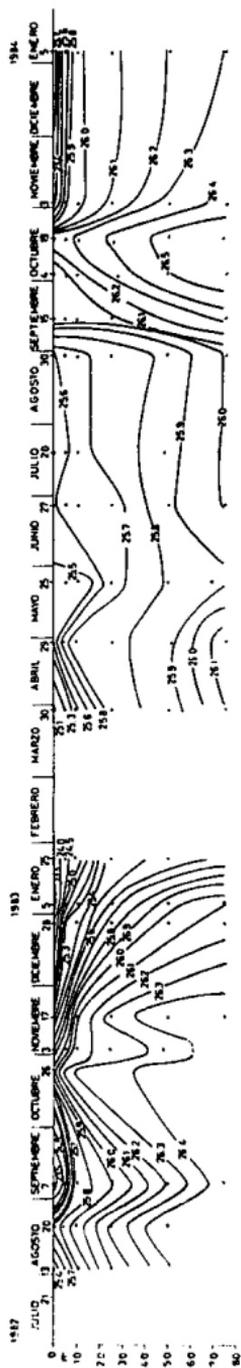
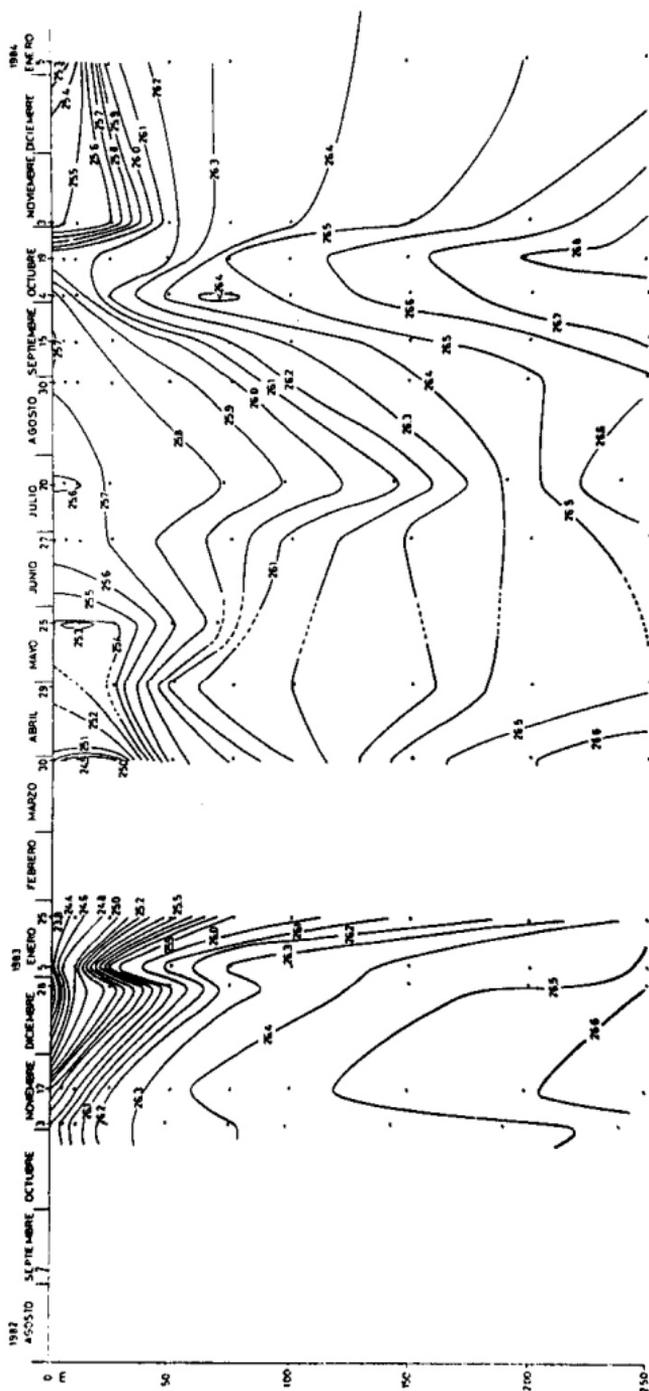


Fig. 5a. Variación temporal de densidad en kg/m^3 en la estación 1.

Fig. 5b. Variación temporal de densidad en kg/m^3 en la estación 2.

períodos de invierno (la isolínea de 100% de saturación coincide o se encuentra muy próxima, bajo la de 6 ml/l). Estas altas concentraciones de oxígeno aumentaron durante la primavera de 1983 a valores mayores que 7 ml/l, con saturaciones sobre el 120%, culminando con los máximos detectados en enero de 1984 (estación 2), con 8,14 ml/l en superficie (146% de saturación) y 8,39 ml/l a 5 m (150% de saturación). El contenido mínimo de oxígeno disuelto en superficie fue registrado en esta misma estación, el 30 de marzo de 1983, con 2,82 ml/l (51% de saturación).

Valores de oxígeno disuelto bajos (< 1,0 ml/l), propios del Agua Ecuatorial Subsuperficial, se detectaron en diversas ocasiones a menos de 100 m, siendo que dicha concentración se encuentra normalmente a profundidades mayores (Fig. 6). El contenido de oxígeno más bajo fue de 0,21 ml/l (3,3% del valor de saturación) a una profundidad de 250 m el 4 de octubre de 1983. En esa misma oportunidad se produjo un marcado ascenso de las isolíneas de oxígeno que afectó la mayor parte de la columna de agua (Fig. 6).

El análisis estadístico efectuado entre el contenido de oxígeno disuelto y sigma-T, en condiciones oceanográficas normales frente a península Los Molles, muestra una relación lineal inversa, la que según un análisis de varianza es significativa al nivel $\alpha = 0,001$ (Tabla 1). La ecuación obtenida a partir de 127 puntos de un total de 192 es

$$[\hat{O}_2] = 130,62 - 4,8352 \sigma_t \quad (1)$$

Los 65 puntos omitidos en el cálculo de regresión son aquellos que presentan una desviación superior al 45% con respecto a los valores predichos por la ecuación (1). Los intervalos de confianza al 99,9% de los parámetros de pendiente (β_1) e intercepto (β_0) de la recta se entregan en la Tabla 1.

Los valores de oxígeno disuelto y sigma-T de marzo, abril y mayo de 1983, que tampoco fueron considerados para el cálculo de la ecuación (1) presentan asimismo una relación lineal inversa significativa al nivel $\alpha = 0,001$ según análisis de varianza (Tabla 2), con una ecuación

$$[\hat{O}_2] = 47,76 - 1,7768 \sigma_t \quad (2)$$

Los intervalos de confianza al 99,9% de los correspondientes parámetros de pendiente (β_1) e intercepto (β_0) aparecen en la Tabla 2. La comparación de los coeficientes de regresión ($\hat{Z} = 11,758$) señala que ambas rectas de regresión son diferentes a un nivel $\alpha > 1 \times 10^{-9}$. Las rectas obtenidas aparecen con su región de confianza de Working-Hotelling al 99,9% en la Fig. 7.

TABLA 1

β_0	β_1	r^2	α	n
130,62 \pm 18,72	-4,8352 \pm 0,7203	0,803 803	0,001	127

ANOVA

F. de V.	SC	gdl	CP	\hat{F}	F 1,125;0,001
Regresión	412,791	1	412,791	512,116	11,36
Resto	100,756	125	0,806051	---	
TOTAL	513,548	126	---	---	

Parámetros de intercepto β_0 y pendiente β_1 con sus intervalos de confianza al 99,9%; coeficiente de determinación r^2 y análisis de varianza de la regresión entre la concentración de oxígeno disuelto y sigma-I en condiciones oceanográficas normales.

TABLA 2

β_0	β_1	r^2	α	n
47,76 \pm 13,64	-1,7768 \pm 0,5314	0,799 385	0,001	38

ANOVA

F. de V.	SC	gdl	CP	\hat{F}	F 1,36;0,001
Regresión	23,8940	1	23,8940	143,45	12,84
Resto	5,9964	36	0,166 567	--	
TOTAL	29,8904	37	--	--	

Parámetros de intercepto β_0 y pendiente β_1 con sus intervalos de confianza al 99,9%; coeficiente de determinación r^2 y análisis de varianza de la regresión entre la concentración de oxígeno disuelto y sigma-I en condiciones oceanográficas "El Niño".

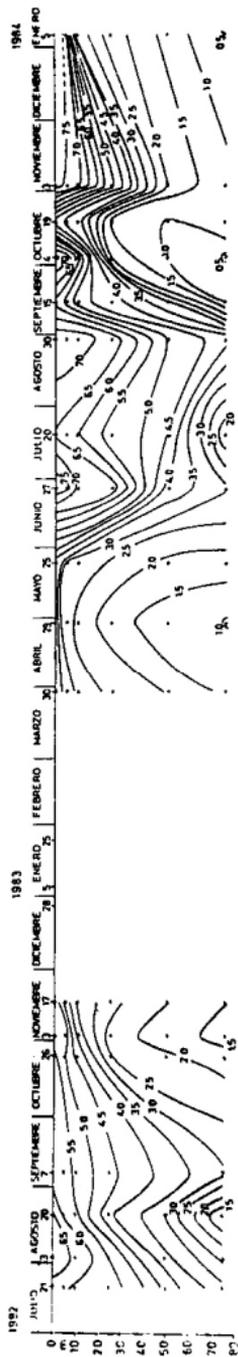


fig. 6a. Variación temporal de contenido de oxígeno disuelto en ml/l en la estación 1.

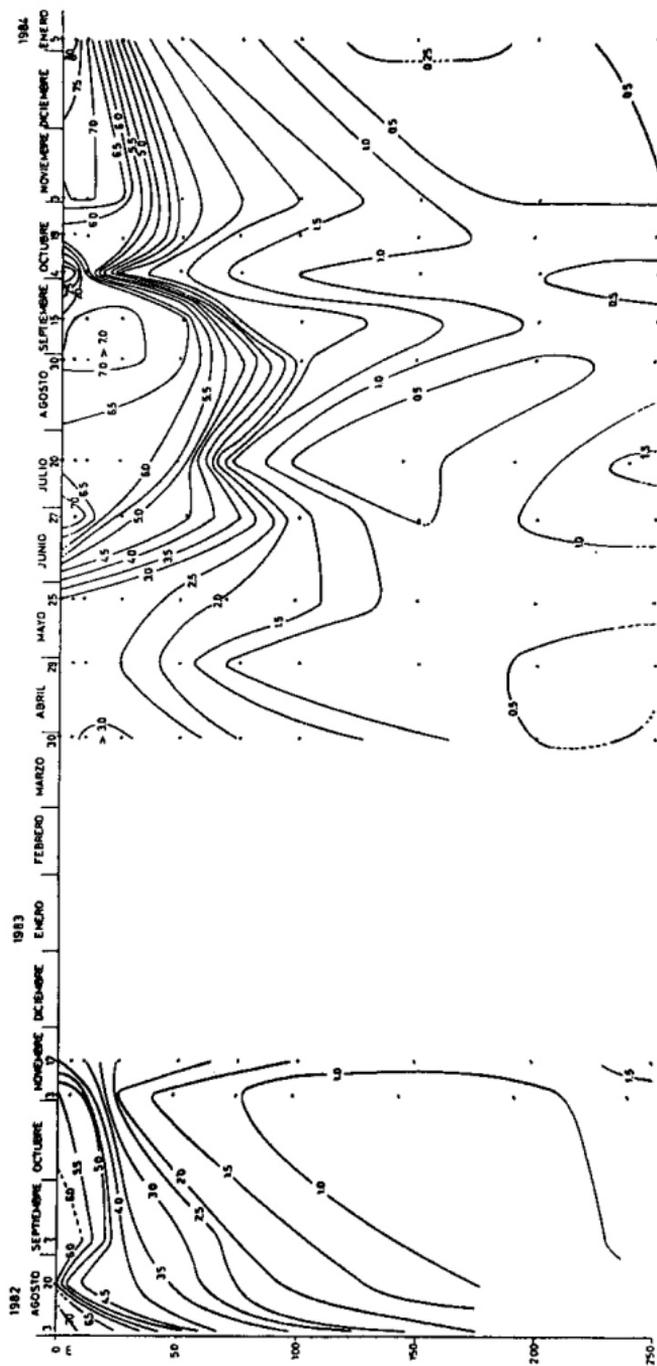


Fig. 6b. Variación temporal de contenido de oxígeno disuelto en ml/l en la estación 2. Datos para el trazado de isolíneas de agosto y septiembre de 1982 interpolados gráficamente a partir de los valores de las estaciones 2A y 3.

Fosfato

El fosfato frente a Los Molles presenta en general concentraciones altas, con valores sobre $1,8 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ en la capa superficial ($< 50 \text{ m}$), característica que es más acentuada en la estación costera (Fig. 8). Las concentraciones más altas en dicha capa aparecen durante los períodos de primavera con valores que superan los $2,0 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ a profundidades menores que 30 m . En este período se observa un marcado ascenso de las isolíneas de fosfato, ubicándose valores mayores que $2,6 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ a menos de 100 m en la estación 2 y de 50 m en la 1.

El fosfato, del nivel superficial, es consumido en verano disminuyendo, en esta oportunidad, a menos de $0,6 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, pobreza que se extendió hasta comienzos de abril en 1983 (Fig. 8). La concentración superficial más baja detectada fue de $0,42 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ el 5 de enero de 1983 en la estación 1.

Durante gran parte del período estudiado se puede observar que la concentración de fosfato aumentó de $0,8$ a $2,6 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ en aproximadamente 100 m con una gradiente inicialmente más marcada. Dicha concentración alcanza un máximo relativo mayor que $2,7 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ a profundidades mayores de 150 m , patrón que se interrumpe a mediados de octubre de 1983 (Fig. 8). La máxima concentración de fosfato ($3,28 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$) fue detectada a 75 m de profundidad en la estación 1 el 3 de noviembre de 1983.

Nitrato

Las concentraciones de nitrato son en general altas y bastante homogéneas bajo los 100 m durante gran parte del año. En torno a los 5 m se produce un rápido aumento de la concentración alcanzando en momentos una gradiente de $10 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ o aún mayor en menos de 50 m de incremento de profundidad (Fig. 9). Valores bajos aparecen en el período estival en una delgada capa superficial ($< 30 \text{ m}$) con concentraciones menores que $4 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Bajo los 100 m de profundidad se detectaron mínimos relativos en enero y noviembre de 1983.

Las diferencias de concentración detectadas en períodos similares de los dos años estudiados es notable. Mientras que en 1982 los valores máximos hasta los 250 m de profundidad no sobrepasaron los $20 \mu \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, esta concentración fue común al año siguiente, en que incluso llegaron a superar los 30μ

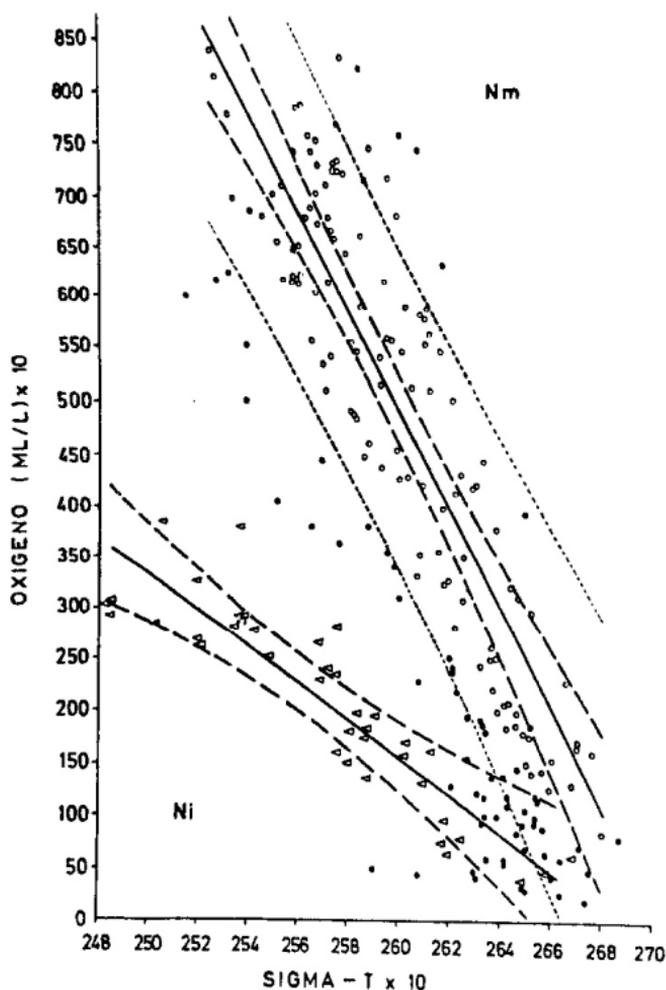


Fig. 7. Relaciones oxígeno-densidad en condiciones normales (Nm) y en condiciones "El Niño" (Ni) frente a península los Molles, Chile (32°45'S). Las líneas segmentadas en torno a ambas rectas representan sus límites de confianza Working-Hotelling para $P = 99,9\%$. Con líneas punteadas se indican los límites de confianza con $P = 95\%$ para el 90% de las observaciones futuras en condiciones normales.

Δ = Pares de observaciones en condiciones "El Niño".

o = Pares de observaciones en condiciones normales.

• = Pares de observaciones no incluidas en el cálculo de regresión (ver texto).

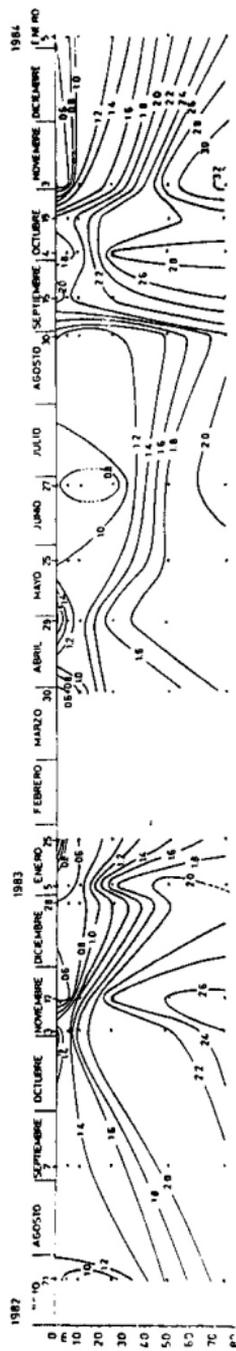


Fig. 8a. Variación temporal de la concentración de fosfato en $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ en la estación 1.

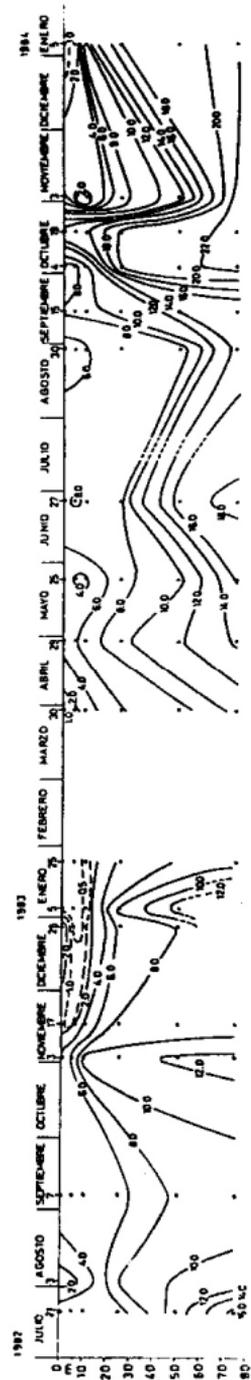


Fig. 9a. Variación temporal de la concentración de nitrato en $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ en la estación 1.

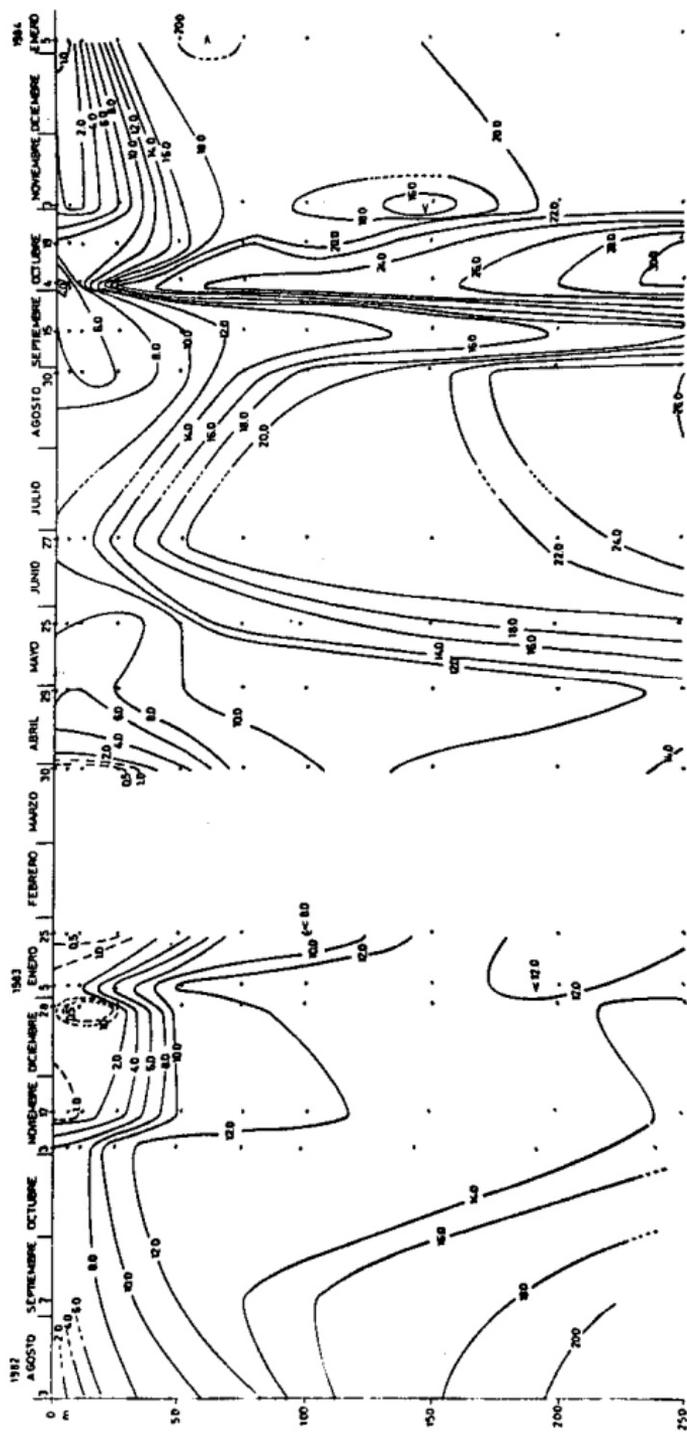


Fig. 9b. Variación temporal de la concentración de nitrato en $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ en la estación 2. Datos para trazado de isolíneas de agosto y septiembre de 1982 interpolados gráficamente a partir de los valores de las estaciones 2A y 3.

$\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. La concentración más alta detectada fue de $31,99 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ a 250 m el 4 de octubre de 1983. A su vez los valores superficiales más altos se registraron el 19 del mismo mes, con $15,57$ y $8,99 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ en las estaciones 1 y 2 respectivamente. En contraste con lo anterior, en 1982 se registró a partir de noviembre una drástica reducción del nitrato en las capas superficiales, llegando prácticamente a su agotamiento a comienzos de 1983, con valores cercanos al límite de detección en la estación 1 el 5 de enero. Esta situación no sólo se mantuvo durante dicho mes, sino que se extendió hasta fines de marzo con concentraciones menores que $1,0 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. La capa de mínimo alcanzó en el período enero-abril de 1983, profundidades cercanas a los 50 m, con un hundimiento general de las isolíneas (Fig. 9).

Nitrato

El nitrato sigue un patrón de distribución temporal singular, siendo la única característica del agua que no mostró un descenso de sus isolíneas en enero de 1983. Se aprecia la existencia de un máximo relativo que se ubica entre 25 y 75 m de profundidad, con un rango de concentración entre $0,3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ y algo mayor que $0,6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Fig. 10). A profundidades mayores que 100 m el nitrato es muy escaso o está totalmente ausente. Ocasionalmente, como en septiembre de 1983, se presenta un máximo relativo más profundo, entre 150 y 200 m, con concentraciones algo mayores que $0,5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.

En la estación 1 se aprecian concentraciones bastante homogéneas a profundidades menores que 50 m (entre $0,3$ y $0,4 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) durante gran parte del año. Este patrón se altera durante octubre, apareciendo un máximo que se va intensificando hacia el verano alcanzando sus valores más altos ($> 0,5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) a profundidades entre 20 y 30 m en dicha época (Fig. 10). En la estación 2 se forma, principalmente en invierno, un máximo relativo centrado alrededor de los 70 m que va ascendiendo a medida que progresa la primavera. En enero de 1983 alcanzó una concentración mayor que $0,6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, en torno a los 25 m. Las concentraciones superficiales más bajas, en ambas estaciones, ocurren en los períodos de verano (Fig. 10).

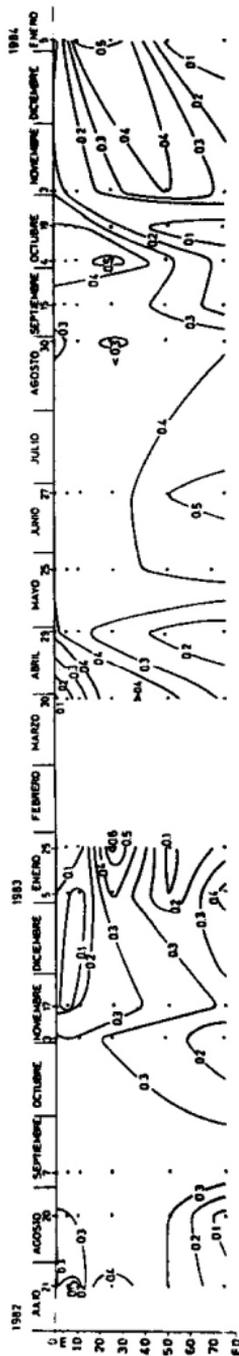


Fig. 10a. Variación temporal de la concentración de nitrito en $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ en la estación 1.

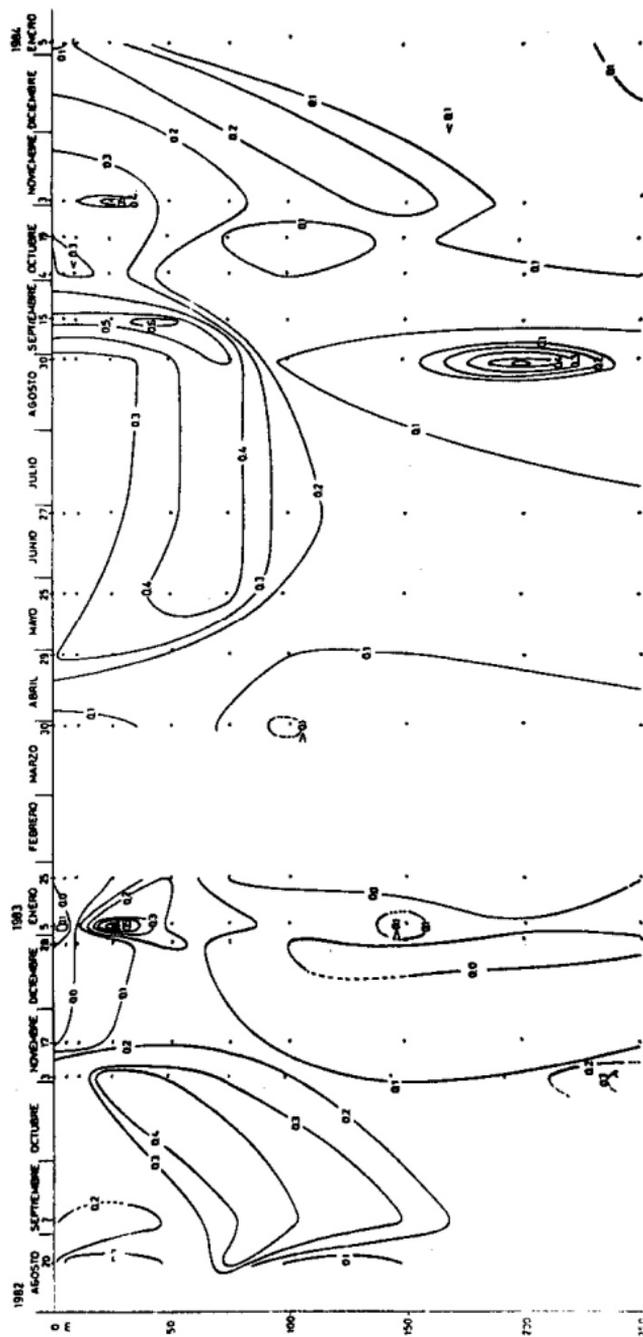


Fig. 10b. Variación temporal de la concentración de nitrito en $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ en la estación 2. Datos para trazado de isolíneas de agosto y septiembre de 1982 interpolados gráficamente a partir de los valores de las estaciones 2A y 3.

Masas de agua

La composición porcentual de las masas de agua presentes a 10, 25, 50 y 150 m, determinadas mediante triángulo de mezcla, se aprecia en la figura 11. Estas series de tiempo permiten identificar cuatro masas de agua en la zona costera de la península Los Molles. Estas son la Subtropical (AST), la Subantártica (ASAA), la Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y la Intermedia Antártica (AIAA). Esta última masa de agua no está presente normalmente en aguas tan someras. Sin embargo, se detectó en porcentajes muy bajos (aproximadamente 10% a 50 m - estación 1 y a 150 m - estación 2) en aquellas oportunidades en que estaban ocurriendo procesos de surgencia muy fuertes, capaces de producir un ascenso lo suficientemente grande como para aumentar la contribución porcentual del AIAA.

El AST aparece con porcentajes significativos ($> 40\%$) a contar de diciembre de 1982. Se ignora el máximo alcanzado dada la interrupción de las observaciones en febrero y marzo, pero se aprecia que este va declinando a medida que avanza el año 1983.

DISCUSION

El marcado ciclo anual de la distribución de temperatura con formación de una termoclina en el período de verano es una característica permanente en la región que ha sido observada previamente por Pizarro (1973), Silva (1973), Sievers & Silva (1973), Reyes & Romero (1977) y Sievers & Silva (1979). No obstante el acentuado hundimiento que experimentan, desde noviembre de 1982, tanto las isotermas como las isolíneas de las demás propiedades analizadas y la intensa gradiente de temperatura encontrada desde diciembre del mismo año no forma parte de la característica señalada por dichos autores para esta estación del año. Esto indica que se presentaron condiciones anómalas que no sólo están asociadas al calentamiento *in situ* sino que además deben tener su origen en la advección de aguas más cálidas, normalmente ajenas a la zona, situación que se analiza más adelante.

Salinidades costeras superficiales bajas, que raramente alcanzan profundidades mayores que 10 m, han sido observadas en

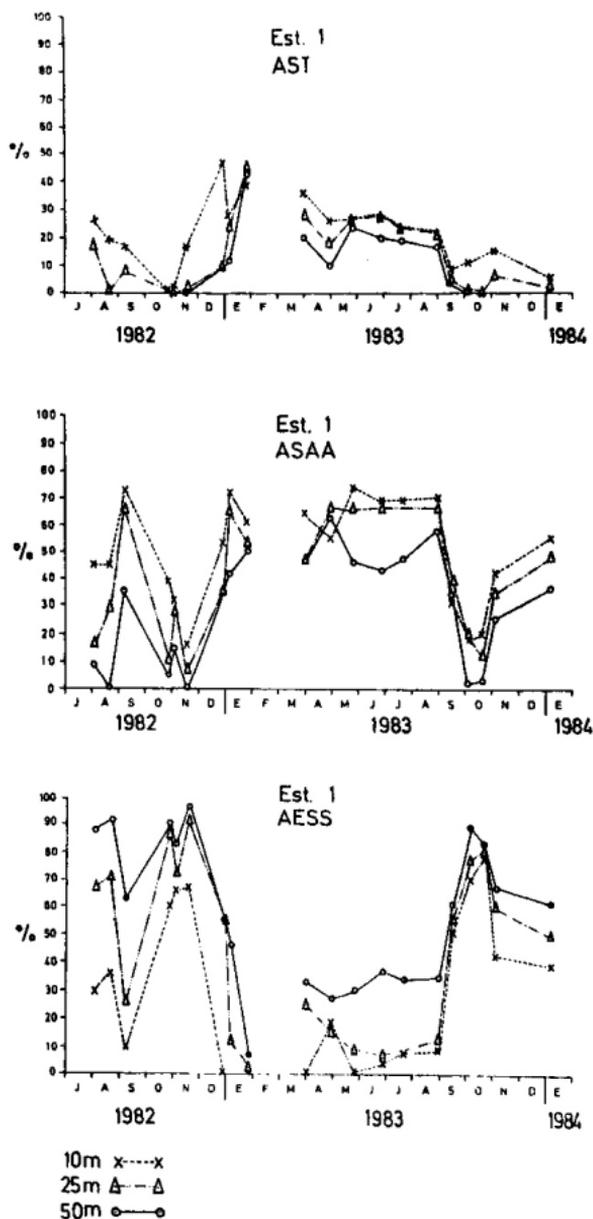


Fig. 11a. Serie de tiempo de distribución de porcentajes de composición del Agua Subtropical (AST), Subantártica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) a las profundidades de 10, 25 y 50 m en la estación 1, determinados mediante el triángulo de mezcla propuesto por Silva & Konow (1975).

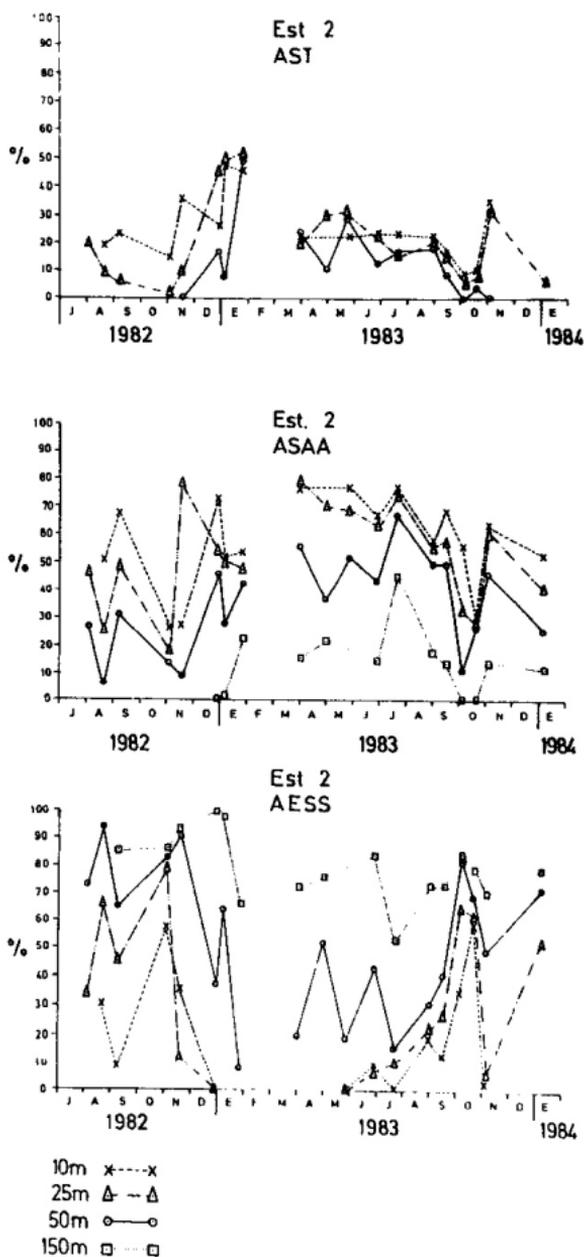


Fig. 11b. Serie de tiempo de distribución de porcentajes de composición del Agua Subtropical (AST), Subantártica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) a las profundidades de 10, 25, 50 y 150 m en la estación 2 determinados mediante el triángulo de mezcla propuesto por Silva & Konow (1975).

diversas oportunidades entre punta Concón y punta Curaumilla, zona que incluye la bahía de Valparaíso (Fig. 1), por Silva (1973), Pizarro (1976), Stuardo et al. (1979) y Sievers & Silva (1979). Silva (1973) y Sievers & Silva (1979) pudieron relacionarlas directamente con intensas lluvias ocurridas poco antes de la realización de las observaciones. A su vez, las bajas salinidades detectadas frente a península Los Molles se deben principalmente a la influencia del río Aconcagua, cuya desembocadura queda a sólo 9 millas al sur de la península (Fig. 1), y cuyo caudal puede aumentar considerablemente en dos períodos diferentes: en la época de lluvias de invierno y comienzos de primavera y en la de los deshielos cordilleranos, que normalmente comienza en noviembre.

El análisis de las precipitaciones y caudal del río Aconcagua hecha por Sievers & Prado (1984) permite explicar la fuerte dilución experimentada por las aguas costeras frente a Los Molles en agosto y septiembre de 1982 y la baja salinidad superficial del 29 de abril de 1983, como una consecuencia del aporte de agua dulce del río Aconcagua al que hay que sumar las precipitaciones directas y el escurrimiento costero. La baja salinidad superficial registrada en el período diciembre 1982-enero 1983 es consecuencia del aumento de caudal causado por los deshielos cordilleranos de primavera y verano, viéndose favorecido el desplazamiento de estas aguas dulces en dirección a la península por los vientos predominantes del tercer cuadrante (Instituto de Oceanología 1984).

Concentraciones de oxígeno a nivel superficial con sobresaturaciones de alrededor de 5% son normales, como resultado de la penetración de burbujas de aire al agua por acción del oleaje (Broecker 1974). Valores de sobresaturación mayores, como los que fueron registrados a fines de 1983 y especialmente en enero de 1984, no pueden ser explicados por este mecanismo siendo, con toda seguridad, producto de procesos fotosintéticos. Esto último está avalado por el hecho que estas sobresaturaciones ocurrieron en una época en que el fitoplancton fue muy abundante (Avaria & Muñoz 1984) y la biomasa zooplanctónica anormalmente baja (Ramorino & Campos 1984). Una situación similar, con alto contenido de oxígeno y valores de sobresaturación mayores que 150%, fue descrita anteriormente para la bahía de Valparaíso por Pizarro (1976), quien atribuyó estas altas concentraciones a la fotosíntesis causada por un bloom de fitoplancton.

Entre marzo y mayo de 1983 se observan, en las capas super-

ficiales en la estación 2, bajas concentraciones de oxígeno disuelto con valores menores que 3 ml/l (Fig. 6). Si bien cabe esperar un descenso de la concentración de oxígeno disuelto como resultado de la disminución de su solubilidad, por la mayor temperatura del agua en verano, este descenso fue mucho más marcado que los informados en la literatura para la zona de Valparaíso (Silva 1973, Sievers & Silva 1973, 1979). Las concentraciones de oxígeno disuelto en diciembre de 1982 y enero de 1983 también fueron notoriamente bajas, pero no han sido incluidas en las figuras 6 y 7 ni consideradas en los análisis de regresión por dudas en la metodología empleada en el análisis de dichas muestras en particular. No obstante, se hace mención de este hecho por cuanto su tendencia es concordante con los demás resultados obtenidos. Además Silva & Ramírez (1983) también determinaron bajos valores de oxígeno frente a punta Angeles en enero de 1983. Estos autores especulan sobre la posibilidad de una interferencia del análisis de oxígeno producto de algún residuo químico no determinado, que podría haber sido descargado al río Aconcagua por las industrias localizadas en sus cercanías. Si bien ésta es una explicación valedera para áreas semicerradas con una baja tasa de renovación de sus aguas o para alteraciones de corta duración, no lo es tanto para un área extensa y expuesta y por un período prolongado como el que se está analizando. Cabe considerar que el contenido de oxígeno disuelto siguió bajo hasta mayo de 1983, pese a la disminución experimentada por el caudal del río Aconcagua (Sievers & Prado 1984).

Por otra parte, Kelly & Blanco (1983) detectaron frente a Caldera (Lat. 27°S) entre febrero y marzo, agua superficial cálida y salina, proveniente del NW, de bajo contenido de oxígeno (< 3 ml/l). Las bajas concentraciones de oxígeno observadas en este período se deben, por lo tanto, a la combinación de varios factores, tanto de tipo físico como bioquímico.

En primer lugar, los resultados del análisis de regresión de las relaciones oxígeno-sigma-T muestran inequívocamente que el agua advectada a la región tiene de partida, cierta pobreza en el contenido de oxígeno disuelto. La relación oxígeno-sigma-T ha sido empleada anteriormente por Richards & Redfield (1955) y por Stefánsson & Richards (1964) y su utilización presupone que el oxígeno disuelto posee un comportamiento semiconservativo. En efecto, el coeficiente de determinación r^2 de ambas rectas aquí obtenidas (Tablas 1 y 2) muestran que un 80% de la variabilidad en el contenido de oxígeno es expli-

cada por las diferencias de densidad del mar, lo cual satisface la asunción de un comportamiento semiconservativo.

El modelo lineal sugerido para el oxígeno disuelto en condiciones oceanográficas normales frente a península Los Muelles, representa un buen ajuste para valores de densidad menores que 26,3 (Fig. 7). A valores más altos de $\sigma\text{-T}$ se produce una mayor diferencia entre los valores reales y los predichos por el modelo. 41 de los 65 puntos omitidos en el cálculo de regresión (con desviaciones $> 45\%$ con respecto a los valores predichos) corresponden a densidades mayores que la señalada. La isopícna de 26,3 está situada bajo la pycnoclina, fuera de la zona fótica, donde el modelo ya no es lineal, ya que las aguas bajo esta profundidad tienen un mayor consumo bioquímico de oxígeno por oxidación de la materia orgánica, producida en las capas superiores, y por la presencia de aguas más profundas, deficientes en oxígeno. La profundidad a la cual se compromete la linealidad es variable y fuertemente dependiente de las surgencias que hacen ascender estas aguas pobres en oxígeno disuelto en las cuales la linealidad ya no se cumple. Procesos de surgencia ocurrieron con bastante frecuencia e intensidad en la zona durante este estudio (Sievers & Prado 1984).

Otro factor que se estima contribuyó a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto observadas desde fines de noviembre de 1982 y hasta comienzos de mayo de 1983 es el rápido aumento de temperatura y la formación de una acentuada termoclina desde dicho mes de noviembre y su posterior intensificación en diciembre y enero. Esto significó una intensa pycnoclina, cuya presencia determina una barrera para la mezcla turbulenta. Además el calentamiento señalado trae aparejado una disminución de la solubilidad del oxígeno y como la velocidad de difusión molecular de éste en el agua es baja, su renovación debe haberse visto bastante dificultada por el proceso mencionado.

Por último cabe mencionar la influencia biológica sobre la concentración de oxígeno. En enero de 1983 se produjo una baja muy brusca de la biomasa de fitoplancton que había sido abundante en los meses anteriores (Avaria & Muñoz 1984). En cambio el zooplancton, consumidor de oxígeno, mantuvo su alta biomasa que sólo comenzó a disminuir paulatinamente a contar de marzo (Ramorino & Campos 1984). Esta biomasa consumidora de oxígeno contribuyó sin duda a reducir aún más la concentración ya menguada por los otros dos factores señalados.

Entre las concentraciones de fosfato y nitrato se da en general, un notable paralelismo (Figs. 8 y 9), siendo más uniformes en invierno como resultado de la convección vertical por enfriamiento superficial. La distribución de ambas sales presenta además similitud con la distribución de densidad (Fig. 5). Las altas concentraciones de invierno alcanzan sus máximos en primavera, coincidiendo con episodios de surgencias ocurridos en la zona (Sievers & Prado 1984), que ocasionaron un gran aumento del fosfato y el nitrato en la capa superficial por ascenso de aguas subsuperficiales ricas en estas sales nutrientes. Especialmente notables son los altos valores alcanzados en octubre de 1983 como consecuencia directa de estos procesos.

Los mínimos de concentración de fosfato y nitrato se producen a partir de noviembre de cada año. Estas bajas concentraciones estivales son consecuencia del consumo producido por el fitoplancton, que alcanza biomazas significativas en tal período (Avaria & Muñoz 1984). El fitoplancton queda confinado, en gran medida, a las capas de agua más superficiales por la pycnoclina, que constituye una verdadera barrera en su distribución vertical. A lo anterior se suma la independencia del coeficiente de difusión vertical de los nutrientes con respecto a su gradiente de concentración y su dependencia de la distribución de la temperatura y la acción del viento (Sverdrup et al. 1946). Este hecho impide la renovación de los nutrientes consumidos por el fitoplancton cuando la termoclina, que se sabe dificulta su difusión y en especial la del nitrato (Riley & Chester 1971), ha alcanzado su máximo desarrollo.

En el caso del fosfato, las concentraciones mínimas en la capa superficial son bastante similares para ambos años, no reflejando por lo tanto las condiciones anómalas experimentadas por la temperatura y el oxígeno disuelto en el verano 1982-83. Esta particularidad puede ser atribuida a la influencia del agua dulce proveniente del río Aconcagua, que como se viera, determinó la baja salinidad superficial durante este mismo período. La diferencia de distribución de las isolíneas observadas en el verano obedece sin duda a la mayor biomasa fitoplanctónica detectada en 1983/84 (Avaria & Muñoz 1984).

El nitrato en cambio acusó la anomalía del verano 1982/83, época en que sus concentraciones, a lo largo de toda la columna de agua, fueron menores en un factor entre 1,5 y 2. Evidentemente este es otro indicio de la presencia de aguas

advectadas a la región, la que además de la señalada deficiencia de oxígeno disuelto y mayor temperatura presentan una pobreza de nitrato, el que a nivel superficial se vio prácticamente agotado por el fitoplancton.

El máximo relativo invernal de nitrito aparece situado a la misma profundidad que la oxiclina (entre los 75 y 25 m) ascendiendo con ésta en septiembre y debilitándose al producirse el florecimiento primaveral del fitoplancton. Su producción estaría condicionada a los procesos invernales de nitrificación y su consumo por el fitoplancton es rápido. El máximo de nitrito aparecido a la profundidad de la termoclina (en torno a los 25 m) en la estación 2 en enero de 1983 (Fig. 10), es probablemente el resultado de procesos de nitrificación. Estos deben haberse visto favorecidos por la concurrencia simultánea, en esa época, de baja concentración de oxígeno, baja brusca de la biomasa de fitoplancton y presencia de una alta biomasa de zooplancton. Cabe recordar, al respecto, que la excreción de nitrógeno por el zooplancton (primordialmente en forma de amonía) es máxima cuando el fitoplancton es escaso (Martin 1968).

La razón normal N/P en el mar es de 15/1, que también es la proporción en que el nitrógeno y el fósforo son asimilados por el fitoplancton (Cooper 1937, Broecker 1974). Desviaciones considerables empero se encuentran en aguas costeras y superficiales, donde la razón varía geográfica y estacionalmente (Ketchum *et al.* 1958, Stefánsson & Richards 1963). En aguas costeras es a menudo baja (Riley & Chester 1971) y para las aguas de la capa superficial del Pacífico que se extiende al norte de latitud 38°S, frente a Chile, se señalan valores bajos, menores que 5 (Sagi 1978). Estas condiciones son las que se pueden observar en la capa de agua de península Los Molles, donde sólo en raras ocasiones se alcanzan valores mayores que 10. Las razones N/P más bajas (< 1) fueron registradas en enero de 1983, coincidiendo con las notablemente bajas concentraciones de nitrato detectadas en ese período. La baja relación N/P que se registra a lo largo del año está indicando que, proporcionalmente, existe un mayor consumo de nitrato que de fosfato por el fitoplancton en esta zona, o bien, que los procesos de renovación de fosfato son más eficientes que los de nitrato. En cualquiera de los casos, es el nitrógeno y no el fósforo el que actuaría como nutriente limitante para el fitoplancton en estas aguas.

El último fenómeno "El Niño", ocurrido entre los años 1982

y 1983, que ha sido calificado como uno de los de mayor intensidad registrados durante este siglo, afectó claramente esta zona en estudio de la región de Valparaíso. En Montemar se registró un aumento de la temperatura superficial del mar en septiembre de 1982 (Fig. 3a) y una anomalía de poco más de un par de desviaciones estándar del promedio histórico en octubre (Fig. 3b). Sin embargo, se produce un descenso de esta temperatura superficial entre octubre y noviembre debido a la ocurrencia de procesos de surgencia, procesos que fueron detectados en ambos meses frente a península Los Molles por Sievers & Prado (1984) y frente a punta Angeles en octubre por Silva & Ramírez (1983). Esto último hace difícil determinar, con esta sola información costera la fecha de iniciación del fenómeno en la región. También Silva & Rojas (1984) muestran este descenso de temperatura para Valparaíso en la figura correspondiente de su trabajo (su figura 9).

Una anomalía térmica positiva típica de la ocurrencia de un fenómeno "El Niño" se produce en los meses de verano de 1983 con 2 a 3 desviaciones estándar, para mantenerse luego aproximadamente con una desviación estándar sobre la media histórica hasta septiembre de 1983 (Fig. 3b). Por otra parte, y a juzgar de las temperaturas superficiales registradas durante los cruceros y que han sido incluidas en la figura 3b, el fenómeno estaba en pleno desarrollo en noviembre de 1982 en esta región.

En el caso de que esta anomalía térmica hubiese comenzado antes, agosto, como parece desprenderse de temperaturas superficiales observadas en el puerto de Valparaíso (Vargas 1984) o de las observaciones biológicas realizadas en forma paralela a este estudio (Instituto de Oceanología 1984) ello no se aprecia de la información costera local de la zona debido, posiblemente, a la ocurrencia de los ya mencionados procesos de surgencia.

La otra característica importante, como es la salinidad superficial, no presta mucha utilidad como identificadora de cuerpos de agua por estar diluida, como ya se ha indicado, tanto por precipitaciones como por deshielo cordillerano durante la mayor parte del tiempo.

El fenómeno "El Niño" 1982/83, junto con producir las anomalías mencionadas (rápido calentamiento), se manifiesta en un notable hundimiento de las isolíneas de la mayor parte de las características del agua a contar de noviembre de 1982. Este desplazamiento vertical, que si bien no puede ser seguido en su totalidad debido a la interrupción de las observaciones en

febrero y marzo de 1983, debe haber alcanzado su mayor profundidad en febrero. En los meses de otoño las isolíneas aún se mantienen a profundidades anormales, pero se puede apreciar que el proceso se encuentra en regresión. En cuanto al fenómeno mismo, hay pocas dudas que se extendió en esta región hasta septiembre de 1983. Así también lo estima N. Silva (comunicación personal).

La utilización del triángulo de mezcla con los pares T-S característicos de los tipos de agua determinados por Silva & Konow (1975), si bien permite realizar una identificación aceptable, presenta algunas limitaciones: la composición de las masas de agua en primavera y verano aparecen algo distorsionadas, por cuanto los valores de temperatura y salinidad de los vértices del triángulo corresponden a la época invernal tanto en el caso del AST ($T = 20^{\circ}\text{C}$ y $S = 35,2 \times 10^{-3}$), como en el del ASAA ($T = 11,5^{\circ}\text{C}$ y $S = 33,8 \times 10^{-3}$).

La presencia de dos de las cuatro masas de agua identificadas, la Subantártica y la Ecuatorial Subsuperficial, sobre los 300 m es normal para esta zona (Silva 1973, Silva & Sievers 1974, Sievers & Silva 1973, 1975, 1979, 1982).

La contribución del AIAA a la mezcla de aguas a estas profundidades es pobre ($\sim 10\%$ a 50 m - estación 1), como ya se ha indicado, y sólo ocurre durante períodos en que se producen intensos procesos de surgencia. La composición porcentual más alta de AIAA (13% a 50 m - estación 1) fue detectada el 19 de octubre de 1983 cuando ocurrió una de las surgencias más intensas (Sievers & Prado 1984).

En cuanto al agua Subtropical (AST) ésta no ha sido específicamente mencionada anteriormente para la zona costera de Valparaíso, según se desprende del análisis de diecinueve trabajos publicados entre 1936 y 1978 (Sievers 1979), como tampoco en trabajos posteriores (Sievers & Silva 1979, Silva & Ramírez 1983). Sin embargo, Silva & Konow (1975) muestran en su gráfico de distribución porcentual de masas de agua (su figura 8) que en la capa superficial el AST contribuye aproximadamente con un 20% a la mezcla en latitud 33°S . Esta agua es de carácter superficial y ha sido descrita para la zona norte de Chile como cálida, salina y pobre en nutrientes ($< 0,3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ de fosfato y $< 3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ de nitrato), sobrepasando en verano los 25°C y los $35,5 \times 10^{-3}$ de salinidad (Silva 1982, Sievers & Silva 1982). Esta AST es transportada hacia el sur por la contracorriente del Perú. En marzo de 1968, un año sin fenómeno "El Niño", sobrepasó los 26° de

latitud sur, formando una capa de sólo 25 a 40 m de espesor que no alcanzó a llegar a la costa por impedírsele los procesos de surgencia que estaban ocurriendo a lo largo de ésta (Sievers & Silva 1982). En otoño e invierno el AST se hace más gruesa (entre 50 y 100 m), especialmente en zonas oceánicas, pero sin encontrarse tan al sur como en la época estival (Sievers & Silva 1975, Silva & Konow 1975, Silva & Sievers 1981).

En diciembre de 1982 se observó, en la zona norte de Chile, la intrusión de una lengua de agua cálida, $> 22^{\circ}\text{C}$, y salina, $> 35,1 \times 10^{-3}$, valores más altos de lo normal para la zona y época del año. Esta agua avanzó hasta más al sur de Antofagasta formando frentes tanto térmico como salino bastante intensos hacia la costa (Silva & Rojas 1984).

Aguas superficiales de estas mismas características ($T > 22^{\circ}\text{C}$, $S > 35 \times 10^{-3}$) y con bajo contenido de oxígeno disuelto ($< 3 \text{ ml/l}$), identificada por Kelly & Blanco (1983) como Agua Subtropical, se observó a su vez, frente a Caldera entre febrero y marzo de 1983. Las características del agua determinadas frente a Los Molles, podrían estar en directa correspondencia con las observadas en la zona norte, más aún, si como lo indica el registro de temperatura superficial en Montemar (Fig. 3), el fenómeno alcanzó su máxima intensidad entre fines de enero y principios de febrero. De ser así y considerando el movimiento vertical de las isolíneas (hundimiento) y los valores anómalos de las características físicas y químicas de la capa de agua superficial, estaríamos observando que la AST aumentó su contribución a la mezcla alcanzando incluso al 50% en enero de 1983 (Fig. 11), dando al agua superficial la característica de agua Subtropical más que Subantártica, situación anómala causada en la región por la ocurrencia del fenómeno "El Niño" 1982/83. Esta conclusión es avalada también por las características de temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nitrato, como por su identificación mediante el triángulo de mezcla construido con los pares T-S indicados por Silva & Konow (1975).

Una confirmación de esta conclusión con otras características observadas, salinidad y posiblemente fosfato, se ve dificultada principalmente por la dilución causada por el agua proveniente del río Aconcagua, cuyo caudal fue mayor que lo normal debido a los deshielos de la abundante nieve cordillerana y las precipitaciones, 709 mm en 1982, bastante superior a la media de 362 mm de los 25 años previos.

Por otra parte, del análisis de indicadores biológicos tanto fito como zooplanctónicos, muestreados simultáneamente con la obtención de los datos físicos y químicos aquí analizados, se confirma esta subtropicalización del agua pues las anomalías descritas también se reflejan en la cantidad y en el tipo de especies presentes. Algunas de ellas son claramente de aguas cálidas y han sido citadas por primera vez para la zona. Entre éstas figuran especies de aguas tropicales y subtropicales como el pterópodo **Limacina trochiformis** (Ramorino & Campos 1984) y especies de aguas cálidas como el dinoflagelado **Pyrophacus steinii** (Avaria & Muñoz 1984).

CONCLUSIONES

1. La salinidad es alterada a nivel superficial frente a península Los Molles por el aporte de agua dulce del río Aconcagua. Ello hace que la identificación de los distintos cuerpos de agua sea más complicada.
2. La concentración de oxígeno disuelto a nivel superficial es alta durante la mayor parte del año, produciéndose valores de sobresaturación mayores que 120% en coincidencia con florecimientos fitoplanctónicos de abundante biomasa. En condiciones oceanográficas normales existe una relación lineal inversa altamente significativa entre el oxígeno disuelto y la densidad. El modelo lineal que describe esta relación representa un buen ajuste para el intervalo $24,8 \leq \sigma_t \leq 26,3$ y permite detectar desviaciones del patrón normal de la concentración de oxígeno.
3. El fosfato y el nitrato presentan un ciclo anual en su distribución, con concentraciones máximas en primavera y mínimas a partir de noviembre de cada año. Los valores máximos son coincidentes con episodios de intensas surgencias. Las concentraciones de ambas sales nutrientes son en general altas y en el caso del nitrato, bastante homogéneas bajo los 100 m de profundidad durante gran parte del año.
4. El nitrito tiene una distribución temporal singular que difiere de las del fosfato y del nitrato, con un máximo en invierno, el que se sitúa a la misma profundidad de la oxiclina y asciende con ésta en primavera al mismo tiempo que se debilita.

5. La razón N/P en estas aguas, sobre los 250 m de profundidad, presenta desviación con respecto a la normal de 15/1 y sus valores se sitúan en torno a 5/1, alcanzando ocasionalmente valores mayores que 10/1.

6. La presencia del fenómeno "El Niño" 1982/83 se caracterizó en el área frente a Los Molles por anomalías térmicas positivas (casi 2°C de diferencia a 250 m entre 1982 y 1983), bajas concentraciones de oxígeno en toda la columna de agua, concentraciones de nitrato muy bajas en la capa superficial ($< 1,0 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$) y hundimiento considerable de las isolíneas de todas las propiedades investigadas excepto las del nitrito. Este hundimiento es el producto de la advección de aguas de régimen más cálido, no característica de la zona e identificada como Agua Subtropical, cuya contribución a la mezcla superó incluso el 50% en enero de 1983. Las condiciones oceanográficas normales se restablecieron a contar de septiembre de 1983 en la región de península Los Molles.

AGRADECIMIENTOS. Se agradece muy sinceramente al Profesor Sr. Pablo Muñoz S. por su valiosa colaboración en la obtención de la información oceanográfica, como asimismo a los patrones de la L/I "Cruz del Sur", Sres. Juan Soto y Ricardo Silva y a sus tripulantes Sres. Sergio Zepeda y Freddy Schulze.

Se agradece también al señor Gabriel Lillo por su cooperación en el análisis químico de las muestras de agua y al dibujante técnico Sr. René Astudillo por la preparación de los gráficos.

Asimismo, se agradece al Profesor Sr. Nelson Silva por la revisión crítica del manuscrito y sus valiosas sugerencias.

Este proyecto fue financiado por el Comité Oceanográfico Nacional (CONA) a quien se reconoce y agradece, como también al Centro Nacional de Datos Oceanográficos (CENDOC) por el procesamiento de los datos de densidad.

LITERATURA CITADA

- Avaria, S. & P. Muñoz. 1984. Fitoplancton. En: Vigilancia de variaciones climatológicas y bio-oceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32º 45'S) en relación al fenómeno "El Niño". Informe final. (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.
- Broecker, W.S. 1974. Chemical Oceanography. Harcourt Brace Jovanovich, Inc. New York, Chicago, San Francisco, Atlanta. 214 pp.
- Carrit, D.E. & J.H. Carpenter. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater. A NASCO Report. Journal of Marine Research, 24 (3): 286-318.
- Cooper, L.H.N. 1937. On the ratio of nitrogen to phosphorus in the sea. Journal Marine Biological Association of the United Kingdom, 22: 177-182.
- Gilbert, W., Pawley, W. & K. Park. 1968. Carpenter's oxygen solubility tables and nomograph for seawater as a function of temperature and salinity. Oregon State University, School of Science, Department of Oceanography. Data Report Nº 29. Reference 68-3.
- Helland-Hansen, B. 1916. Nogen hidrografiske meteoder. Skand, Naturforsker møte, Kristiana (Oslo).
- Hunter, J.S. 1980. Calibration and the Straight Line: Current Statistical Practices. Journal Association of Official Agricultural Chemists, 64 (3): 574-583.
- Instituto de Fomento Pesquero, Chile. 1983. Condiciones oceánicas superficiales en Chile, diciembre de 1982. ERFEN Estudio Regional del fenómeno El Niño Pacífico Sur Este. Boletín Nº 3: 16-21.
- Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso. 1984. Vigilancia de variaciones climatológicas y bio-oceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32º45'S) en relación al fenómeno "El Niño". Informe final. (L. Ramorino M., Coordinador), 473 pp.
- Kelly, J.R. & J.L. Blanco. 1983. Estudio oceanográfico de las aguas del norte de Chile. Instituto de Fomento Pesquero. Informe no publicado, 38 pp.

- Ketchum, B.H., R.F. Vaccaro & N. Corwin. 1958. The annual cycle of phosphorus and nitrogen in New England coastal waters. *Journal Marine Research*, 17: 282-301.
- Martin, J.H. 1968. Phytoplankton-Zooplankton relationships in Narragansett Bay III. Seasonal changes in zooplankton excretion rates in relation to phytoplankton abundance. *Limnology and Oceanography*, 13 (1): 63-71.
- Pizarro, M. 1973. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. La temperatura superficial y la radiación solar. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 15 (1): 77-105.
- Pizarro, M. 1976. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. IV. Condiciones físicas y químicas del ambiente. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 16 (1): 35-69.
- Ramorino, L. & B. Campos. 1984. Zooplancton. En: Vigilancia de variaciones climatológicas y bio-oceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32° 45'S) en relación al fenómeno "El Niño". Informe Final (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.
- Reyes, E. & H. Romero. 1977. Climatología e interacción océano-atmósfera en la bahía de Valparaíso. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 16 (2): 125-159.
- Richards, F.A. & A.C. Redfield. 1955. Oxygen-density relationships in the western North Atlantic. *Deep-Sea Research*, 2: 182-199.
- Riley, J.P. & R. Chester. 1971. Introduction to marine chemistry. Academic Press, London. 465 pp.
- Sachs, L. 1984. *Angewandte Statistik*, 6. Auflage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 552 pp.
- Sagi, T. 1978. The ratio of nitrate to phosphate in seawater of the Pacific. *The Oceanographical Magazine*, 29: 23-34.
- Sievers, H.A. 1979. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad, contenido de oxígeno y altura dinámica frente a punta Curaumilla (mayo de 1974-abril de 1975). Tesis, Escuela de Ciencias del Mar y de los Alimentos, Universidad Católica de Valparaíso, 77 pp.
- Sievers, H.A. & R. Prado. 1984. Oceanografía. En: Vigilancia de variaciones climatológicas y bio-oceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32° 45'S) en relación al fenómeno "El Niño". Informe Final. (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.

- Sievers, H.A. & N. Silva. 1973. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno frente a la bahía de Valparaíso (mayo de 1968-abril de 1969). *Investigaciones Marinas*, 4 (1): 1-16.
- Sievers, H.A. & N. Silva. 1975. Masas de agua y circulación en el océano Pacífico Sudoriental. Latitudes 18°S-33°S (Operación Oceanográfica MARCHILE VIII). *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA*, 1: 7-67.
- Sievers, H.A. & N. Silva. 1979. Variación temporal de las condiciones oceanográficas frente a punta Curaumilla, Valparaíso, Chile (mayo de 1974-abril de 1975). *Investigaciones Marinas*, 7 (1): 3-20.
- Sievers, H.A. & N. Silva. 1982. Masas de agua y circulación geostrofica frente a la costa de Chile entre latitudes 18°S y 33°S (Operación Oceanográfica MARCHILE VII). *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA*, 6: 61-99.
- Silva, N. 1973. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno en la zona costera de Valparaíso (septiembre de 1969-agosto de 1970). *Investigaciones Marinas*, 4 (3): 89-112.
- Silva, N. 1982. Contenido de sales nutrientes de las aguas de la región norte de Chile (crucero MARCHILE XII-ERFEN III). Informe Final. Estudios Docentes, Universidad Católica de Valparaíso, 22/82, 43 pp.
- Silva, N. & D. Konow. 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición Krill. Crucero 3-4, julio-agosto 1974. *Revista Comisión Permanente del Pacífico Sur*, 3: 63-75.
- Silva, N. & B. Ramírez. 1983. Vigilancia de la variación espacio-temporal de las condiciones oceanográficas físicas, químicas y biológicas frente a la bahía de Valparaíso. Informe Final. Estudios Docentes, Universidad Católica de Valparaíso, 10/83, 175 pp.
- Silva, N. & R. Rojas. 1984. Presencia del fenómeno "El Niño" 1982/83 frente a la costa norte de Chile. *Pacífico Sur*, 15: 121-140.
- Silva, N. & H.A. Sievers. 1974. Masas de agua, velocidad geostrofica y transporte de volumen entre Valparaíso e isla Robinson Crusoe (océano Pacífico Sudoriental). *Revista Comisión Permanente Pacífico Sur, Ciencias y Derecho*, 2: 103-120.
- Silva, N. & H.A. Sievers. 1978. Informe preliminar sobre los resultados de la Operación Oceanográfica MARCHILE X-ERFEN I (1º al 29 de julio de 1976). Comité Oceanográfico Nacional, Valparaíso, Chile: 33 pp (Manuscrito no publicado).
- Silva, N. & H.A. Sievers. 1981. Masas de agua y circulación en la región de la rama costera de la corriente de Humboldt. Latitudes 18°S-33°S. (Operación Oceanográfica MARCHILE X-ERFEN I). *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA*, 5: 5-50.

- Stefánsson, U. & F.A. Richards. 1963. Processes contributing to the nutrient distributions off the Columbia River and Strait of Juan de Fuca. *Limnology and Oceanography*, 8: 394-410.
- Stefánsson, U. & F.A. Richards. 1964. Distributions of dissolved oxygen, density, and nutrients off the Washington and Oregon coasts. *Deep-Sea Research*, 11: 355-380.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1968. A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin fisheries Research Board of Canada*, 167: 311 pp.
- Stuardo, J., H. Andrade & M.A. Soto. 1979. Dinámica parcial e importancia de asociaciones faunísticas en fondos de la bahía de Valparaíso ante efectos posibles de impacto ambiental. En: Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria. Vol. II.
- Sverdrup, H.U., M.W. Johnson & R.H. Fleming. 1942. The Oceans, their physics chemistry and general biology. Prentice-Hall, Inc., New York, 1087 pp.
- Vargas, G. 1984. Meteorología. En: Vigilancia de variaciones climatológicas y bio-oceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32°45'S) en relación al fenómeno "El Niño". Informe Final (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.